茶多酚对育肥猪生长性能、抗氧化能力、胴体品质和肉品质的影响

晁娅梅[1] 陈代文[1] 余 冰[1] 何 军[1] 虞 洁[1] 毛湘冰[1] 罗玉衡[1] 黄志清[1] 罗钧秋[1] 王韶辉[2] 罗成贵[2] 郑 萍[1*]

（1.四川农业大学动物营养研究所，动物抗病营养教育部重点实验室，雅安 625014；2.成都蜀星饲料有限公司，成都 610043）

摘 要：本试验旨在研究茶多酚对育肥猪生长性能、抗氧化能力、胴体品质和肉品质的影响，探讨其在肥育猪上的应用效果。采用单因子试验设计，试验选择 60 头（74.19±7.41） kg 的育肥猪随机分为 2 个组，每组 6 个重复，每个重复 5 头猪。对照组饲喂基础饲粮，茶多酚组饲喂在基础饲粮中添加 400 mg/kg 茶多酚的试验饲粮。试验期为 6 周。结果表明：1）与对照组相比，茶多酚组显著提高育肥猪的净增重和平均日增重（P<0.05）。2）与对照组相比，茶多酚组显著降低育肥猪血清中谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）的活性（P=0.05），极显著提高肝脏 GSH-Px 活性（P<0.01），显著提高肝脏总抗氧化能力（T-AOC）（P=0.05），并且茶多酚组肝脏中丙二醛（MDA）含量较对照组降低了 26.24%（P＝0.09）；茶多酚组显著降低了育肥猪肝脏中 *GSH-Px*、过氧化氢酶（*CAT*）和醌氧化还原酶 1（*NQO*1）的基因的表达量（P≤0.05）。3）与对照组相比，茶多酚组对育肥猪的胴体和肉品质的影响差异不显著（P>0.05）。茶多酚组育肥猪屠宰后 24 h pH、45 min 亮度（L^*）值与对照组相比分别提高了 1.65%（P＝0.09）和 3.74%（P＝0.10），而 24 h L^*值却比对照组降低了 4.26%（P＝0.10）。综上，在本试验条件下，育肥猪饲粮中添加 400 mg/kg 的茶多酚显著改善了育肥猪的平均日增重和净增重，降低了血清中 GSH-Px 活性，提高了肝脏中 GSH-Px 活性和 T-AOC，但对育肥猪的胴体和肉品质无显著的影响。

关键词：茶多酚；生长性能；抗氧化能力；胴体品质；肉品质；基因表达

中图分类号：S816.7　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X（2016）00-0000-00

随着人们生活水平的提高以及健康意识的增强，人们对优质猪肉的需求也逐渐增强，而近年来生物活性植物营养素所具有的多种生物功能逐渐被认识，其肉质改良作用研究已成当今动物营养研究的热点[1]。茶多酚为我国允许的食品添加剂，是一种从茶叶中提取的纯天然复合物，是茶叶中多酚类物质的总称，主要包括儿茶素、花青素、黄酮类和酚酸类等有机化

收稿日期：2016－06－02

基金项目：生猪现代产业链高效配套技术研究与集成示范（2013NZ0056）

作者简介：晁娅梅（1990－），女，四川绵阳人，硕士研究生，从事猪的营养研究。E-mail: 15983750280@163.com

*通信作者：郑 萍，副研究员，硕士生导师，E-mail: zpind05@163.com

合物[2]，其具有清除自由基、抗氧化、抗衰老、抗突变、降低血脂和胆固醇以及抗菌等功能多种功能[3-6]。研究表明，饲粮中添加茶多酚能够提高猪的生长性能[1,7-9]、改善猪肉品质等作用[1,10-11]。但是，也有研究表明添加茶多酚对试验猪末重、平均日增重、平均日采食量和饲料利用率无显著影响，而且不同研究结果建议的添加量也存在差异[12]。因此，本试验旨在研究茶多酚对育肥猪生长性能、抗氧化能力、胴体品质和肉品质的影响，探讨其在肥育猪上的应用效果，为茶多酚在育肥猪上的应用提供指导，同时为通过饲粮途径改善猪肉品质、生产优质猪肉提供依据和参考。

1　材料和方法

1.1　试验材料

茶多酚由名山克鲁尼茶叶有限责任公司提供，纯度为60%。

1.2　试验设计

试验采用单因子试验设计，选择60头（74.19±7.41） kg的“杜×长×大”育肥猪随机分为2个组（每组6个重复，每个重复5头猪）。对照组饲喂基础饲粮，茶多酚组饲喂在基础饲粮中添加400 mg/kg茶多酚（实际添加产品量为667 mg/kg）的试验饲粮。试验期为6周。

1.3　试验饲粮

基础饲粮为玉米–豆粕型，参照NRC（2012）育肥猪营养需要配制，基础饲粮组成及营养水平见表1，茶多酚成分含量见表2。

表1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet　(air-dry basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels3)	含量 Content
玉米 Maize	73.62	消化能 DE/（MJ/kg）	13.97
小麦麸 Wheat bran	6.30	粗蛋白质 CP	13.30
豆粕 Soybean meal	16.00	钙 Ca	0.55
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.70	总磷 TP	0.42
石粉 Limestone	0.90	有效磷 AP	0.26
大豆油 Soybean oil	1.80	赖氨酸 Lys	0.66
L–赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl	0.04	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.44

食盐 NaCl	0.30	苏氨酸 Thr	0.51
微量元素预混料 Mineral premix[1)]	0.20	色氨酸 Trp	0.15
复合多维 Vitamin premix[2)]	0.04		
氯化胆碱 Choline chloride	0.10		
合计 Total	100.00		

[1)] 微量元素预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided the following per kg of diet：Fe 60 mg，Cu 6 mg，Mn 10 mg，Zn 60 mg，Se 0.3 mg，I 0.3 mg。

[2)] 复合多维为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kg of diet：VA 6 000 IU，VD_3 400 IU，VE 10 IU，VK_3 2 mg，VB_1 0.8 mg，VB_2 6.4 mg，VB_6 2.4 mg，VB_{12} 12 μg，叶酸 folic acid 0.2 mg，烟酸 nicotinic acid 14 mg，*D*–泛酸 *D*-pantothenic acid 10 mg。

[3)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

表 2　茶多酚成分含量

Table 2　Component content of the tea polyphenol　　%

成分 Components	含量 Content
茶多酚 Tea polyhenol	63.58
儿茶素 Catechin	40.20
表没食子儿茶素没食子酸酯 EGCG	21.97
咖啡碱 Caffeine	6.84

1.4　饲养管理

试验地点为成都蜀星饲料有限公司动物养殖场。猪舍用 2%碱液喷洒，隔夜后用清水清洗干净，再喷洒百毒杀消毒。整个试验期采取自由采食、饮水，每日 3 次喂料（08：00、14：00 和 20:00），每次以猪吃饱后料槽内略有余料为宜。粪便每天打扫 1 次，及时冲圈，注意通风换气。每天记录采食量、温湿度和腹泻情况，定期用百毒杀消毒。试验期间不对猪只使用任何抗生素类药物，免疫消毒程序按常规方法进行。

1.5　样品采集与处理

血样：于试验的第 43 天 08：00，每个组选 8 头接近平均体重的空腹 12 h 的育肥猪，前腔静脉采血 10 mL，于 37 ℃水浴中静置 30 min，3 000 r/min 离心 10 min，分离血清，－20 ℃保存待测。

组织样品：于试验结束后，每个组选择 8 头接近平均体重的猪电晕放血屠宰，按照屠宰流程进行常规放血、剥皮、去头、蹄和尾，除内脏（保留板油和肾脏）后劈半进行胴体品质和猪肉品质测定。取背最长肌样，用于测定肉品质。屠宰后取肝脏样，用于抗氧化酶测定，并保存于－20 ℃冰箱中，用于 mRNA 测定的样品置于液氮速冻，并放入－80 ℃冰箱保存待测。

1.6　测定指标与方法

1.6.1　生长性能

试验期间每天观察和准确记录猪的健康状况，在试验第 43 天 08：00 以重复为单位空腹称重，计算试验全期的平均日增重和净增重。

1.6.2　抗氧化能力

采用试剂盒（南京建成生物工程研究所）测定血清和肝脏的总超氧化物歧化酶（T-SOD）、过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）的活性、总抗氧化能力（T-AOC）以及还原型谷胱甘肽（GSH）、丙二醛（MDA）的含量，测定方法按照试剂盒说明进行。

1.6.3　胴体品质

胴体组成指标测量及计算方法参照《猪生产学》[13]，屠宰后测定和计算屠前活重、屠宰率、胴体重、胴体长、眼肌面积和平均背膘厚。

1.6.4　肉品质

参照 NY/T 1333—2007《畜禽肉品质测定方法》和 GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》进行样本的采集和测定。

1）pH：用便携式酸度计（OPTO–STAR，R Matthaus，德国）直接测定宰后 45 min 和 24 h 肌肉样本的 pH。

2）肉色：用色差仪（CR–300，日本美能达公司）直接读数测定宰后 45 min 和 24 h 背最长肌的肉色亮度（L^*）、红度（a^*）和黄度（b^*）值。

3）大理石纹评分：将背最长肌置于 0~4 ℃冰箱保存 24 h 后，用刀切取新鲜面对照大理石纹评分图（NPPC，1991）进行评定。1 分为脂肪呈痕量分布；2 分为脂肪呈微量分布；3 分为脂肪呈少量分布；4 分为脂肪呈适量分布；5 分为脂肪呈过量分布；2 级之间可设 0.5 分。

4）滴水损失：将背最长肌剔除肌膜，在将肌肉组织修剪成长 5 cm、宽 3 cm、厚 2 cm 的肉块，记录其重量为 W_1，然后用铁丝挂住肉样，封在气体充盈的塑料袋内并系紧袋悬挂于 4 ℃，24 h 后去掉塑料袋，用滤纸吸去肉样表面的水分，对肉样再次称重，记录滴水后的

肉样重量为 W_2。

滴水损失（%）=100×（W_1－W_2）/W_1。

5）蒸煮损失：取 5~6 肋骨背最长肌 50 g 左右，称重记为 W_3，然后将肉样放在 80 ℃水浴锅里，加盖后蒸 30 min，取出熟肉样，用铁丝悬挂于室内阴凉处，冷却 20 min，再称熟肉重，记为 W_4。

蒸煮损失（%）=100×（W_3－W_4）/W_3。

6）肌内脂肪：取 5 g 左右肌肉样本，用冷冻干燥仪对其进行干燥测定干物质含量。将肌肉样品粉碎过 40 目筛，取 1 g 左右冻干后样品进行索式抽提，肌内脂肪含量根据抽提前后样品重量差异进行计算。

7）剪切力：在背最长肌取肉样长宽高不少于 6 cm×3 cm×3 cm 的整块肉样，剔除肉表面的筋、腱、膜及脂肪。装入样品袋，写好编号和名称后放入冰盒。将新鲜肌肉组织置于水浴锅中加热使其中心温度达 70 ℃，并进行冷却使其温度降到 20 ℃后用嫩度剪切仪（TA.XT Plus 质构仪，SMSTA，英国）上测定剪切力值。

1.6.5　肝脏抗氧化相关基因表达量

实时定量 PCR 法测定肝脏的超氧化物歧化酶（*SOD*）、*GSH-Px*、*CAT*、核因子 E2 相关因子 2（*Nrf*2）、血红素氧合酶 1（*HO*-1）和醌氧化还原酶 1（*NQO*1）基因相对表达量。

肝脏组织总 RNA 提取按照试剂盒（Trizol Reagent，TaKaRa，日本）操作说明进行，RNA 浓度采用核酸蛋白检测仪（Beckman Du–800，CA，美国）于 260 nm 检测。A260/A280 表示 RNA 的纯度，该比值位于 1.8~2.0 表明 RNA 纯度较好。cDNA 合成采用逆转录试剂盒（Prime Script TM reagent kit，TaKaRa，日本），反应结束后－20 ℃保存备用。用实时定量 PCR 仪（ABI7900HT Real-Time PCR System，ABI，美国）进行测定，反应荧光染料为 SYBR Green I（TaKaRa，日本）。反应体系为 10 μL：5 μL SYBR Premix Ex TaqTM II（2×），1 μL 上游引物，1 μL 下游引物，2 μL 双蒸水，1 μL cDNA 模板。利用美国国家生物技术信息中心（NCBI）搜索目的基因片段，运用 Primer 5、Oligo 6.0 进行引物设计，由大连宝生物公司合成，引物序列见表 3。表达量计算采用 ΔΔCt 和标准曲线扩增效率校正法，参照 Pfaffl 等[14]。试验内参基因选用 β–肌动蛋白。

表 3　实时定量 PCR 引物序列及参数

Table 3　Sequences and parameters of primers for the real-time PCR

基因 Genes	引物序列 Nucleotide sequence	引物长度 Product size/bp	退火温度 Anneal temperature/℃
β–肌动蛋白 β-actin	F：TCTGGCACCACACCTTCT R：TGATCTGGGTCATCTTCTCAC	114	60
谷胱甘肽过氧化物酶 *GSH-Px*	F：GCTCGGTGTATGCCTTCTCT R：AGCGACGCTACGTTCTCAAT	103	60
超氧化物歧化酶 *SOD*	F：GAGACCTGGGCAATGTGACT R：CTGCCCAAGTCATCTGGTTT	139	60
过氧化氢酶 *CAT*	F：ACATGGTCTGGGACTTCTGG R：TCATGTGCCTGTGTCCATCT	99	60
血红素氧合酶 1 *HO*-1	F：GCTGAGAATGCCGAGTTCAT R：TGTAGACCGGGTTCTCCTTG	142	60
醌氧化还原酶 1 *NQO*1	F：GTATCCTGCCGAGACTGCTC R：TAGCAGGGACTCCAAACCAC	134	60
核因子 E2 相关因子 2 *Nrf*2	F：GAAAGCCCAGTCTTCATTGC R：TTGGAACCGTGCTAGTCTCA	190	60

1.7 数据统计分析

试验数据采用 Excel 2010 整理，利用 SPSS 20 软件对 2 个组数据进行 *t* 检验分析，以 $P \leq 0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。试验结果以“平均值±标准误”表示。

2 结 果

2.1 茶多酚对育肥猪生长性能的影响

由表 4 可以看出，与对照组相比，饲粮添加茶多酚能显著提高育肥猪净增重和平均日增重（$P<0.05$）。

表 4 茶多酚对肥育猪生长性能的影响

Table 4 Effects of tea polyhenol on growth performance of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	茶多酚组 Tea polyhenol group	*P* 值 *P*-value
始重 Initial body weight/kg	74.19±3.24	74.18±3.10	1.00

末重 Final body weight/kg	103.48±2.73	106.73±3.82	0.51
净增重 WG/kg	29.29±0.66	32.55±1.05	0.03
平均日增重 ADG/（g/d）	770.79±17.28	856.51±27.61	0.03

2.2 茶多酚对育肥猪抗氧化能力的影响

由表 5 可以看出，与对照组相比，茶多酚显著降低育肥猪血清 GSH-Px 的活性（*P*=0.05），对于血清的其他抗氧化指标的影响差异不显著（*P*>0.05）。与对照组相比，茶多酚极显著提高肝脏中 GSH-Px 活性（*P*<0.01）、显著提高 T-AOC（*P*=0.05），并且茶多酚组的肝脏 MDA 含量较对照组降低了 26.24%（*P*＝0.09），茶多酚对于肝脏的其他抗氧化指标的影响差异不显著（*P*>0.05）。

表 5 茶多酚对育肥猪血清和肝脏抗氧化能力的影响

Table 5 Effects of tea polyhenol on antioxidant activity in serum and live of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	茶多酚组 Tea polyhenol group	*P* 值 *P*-value
血清 Serum			
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mL）	1 607.49±59.22	1 467.31±27.44	0.05
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mL）	69.44±1.20	69.13±0.64	0.82
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	2.76±0.43	2.17±0.19	0.25
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	1.99±0.11	2.20±0.09	0.18
谷胱甘肽 GSH/（μmol/L）	8.70±3.72	7.67±2.21	0.51
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	54.11±2.77	53.20±2.44	0.81
肝脏 Liver			
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	450.09±6.81	514.28±10.40	<0.01
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mg prot）	122.73±3.50	128.49±5.34	0.39
过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	269.18±15.46	307.91±14.21	0.10
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mg	0.51±0.03	0.69±0.07	0.05

prot）			
谷胱甘肽 GSH/（μmol/g prot）	54.11±2.77	53.20±2.44	0.81
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	2.82±0.27	2.08±0.30	0.09

2.3 茶多酚对育肥猪胴体品质的影响

由表 6 可以看出，饲粮添加茶多酚对育肥猪胴体品质的影响与对照组相比差异不显著（P>0.05）。与对照组相比，茶多酚组的屠宰率、胴体重和眼肌面积分别比对照组提高了1.02%、1.64%和 12.66%，但差异不显著（P>0.05）。

表 6 茶多酚对育肥猪胴体品质的影响

Table 6 Effects of tea polyhenol on carcass performance of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	茶多酚组 Tea polyhenol group	*P* 值 *P*-value
屠前活重 Slaughter weight/kg	104.83±2.27	105.35±3.67	0.91
屠宰率 Dressing percentage/%	71.43±0.63	72.16±0.55	0.40
胴体重 Carcass weight/kg	74.90±1.86	76.13±3.11	0.74
胴体长 Carcass length/cm	102.06±0.98	102.81±1.49	0.68
眼肌面积 Loin eye area/cm^2	34.99±3.03	39.42±3.29	0.34
平均背膘厚 Average backfat thickness/cm	2.01±0.14	2.09±0.18	0.71

2.4 茶多酚对育肥猪肉品质的影响

由表 7 可以看出，与对照组相比，饲粮添加茶多酚对育肥猪的肉品质没有显著影响（P>0.05）。与对照组相比，茶多酚组育肥猪屠宰后 45 min 的 pH 提高了 1.17%（P>0.05），屠宰后 24 h 的 pH 有升高的趋势（P＝0.09），升高了 1.65%。在屠宰后 45 min 时，茶多酚组的 L^*值比对照组提高了 3.74%（P＝0.10），但存储 24 h 后，茶多酚组的 L^*值比对照组降低了 4.26%（P＝0.10）。与对照组相比，茶多酚组对于滴水损失、蒸煮损失、剪切力、大理石纹评分和肌内脂肪等肉品质指标都没显著影响（P>0.05）。

表 7 茶多酚对肥育猪肉品质的影响

Table 7 Effects of tea polyhenol on meat quality of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	茶多酚组 Tea polyhenol group	*P* 值 *P*-value
$pH_{45\ min}$	5.98±0.02	6.05±0.04	0.11

$pH_{24\ h}$	5.46±0.02	5.55±0.04	0.09
45 min 亮度 $L^*_{45\ min}$	42.22±0.54	43.80±0.73	0.10
45 min 红度 $a^*_{45\ min}$	3.45±0.35	3.23±0.47	0.72
45 min 黄度 $b^*_{45\ min}$	2.92±0.21	3.03±0.29	0.76
24 h 亮度 $L^*_{24\ h}$	48.59±1.09	46.52±0.41	0.10
24 h 红度 $a^*_{24\ h}$	5.89±0.51	5.38±0.84	0.61
24 h 黄度 $b^*_{24\ h}$	6.48±0.53	5.89±0.77	0.54
滴水损失 Drip loss/%	2.60±0.21	3.01±0.41	0.38
蒸煮损失 Cooking loss/%	36.48±1.26	37.83±0.69	0.36
大理石纹 Marbling score	2.69±0.26	3.06±0.24	0.30
剪切力 Shear forces/（kg/cm^2）	8.90±0.54	8.61±0.57	0.72
肌内脂肪 Intramuscular fat/%	1.32±0.41	1.22±0.10	0.63

2.5 茶多酚对育肥猪肝脏抗氧化相关基因表达的影响

由表 8 可以看出，与对照组相比，茶多酚组肝脏中 *GSH-Px*、*CAT* 和 *NQO*1 的基因表达量显著降低（$P\leq0.05$），而 *HO*-1 的表达量与对照组相比提高了 30%（$P=0.06$）。

表 8 茶多酚对育肥猪肝脏抗氧化相关基因表达的影响

Table 8 Effects of tea polyphenol on expression level of genes related to antioxidant in liver of finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	茶多酚组 Tea polyhenol group	*P* 值 *P*-value
谷胱甘肽过氧化物酶 *GSH-Px*	1.00±0.13	0.66±0.09	0.05
超氧化物歧化酶 *SOD*	1.00±0.16	1.06±0.0.20	0.93
过氧化氢酶 *CAT*	1.00±0.08	0.77±0.06	0.04
血红素氧合酶 1 *HO*-1	1.00±0.11	1.30±0.10	0.06
醌氧化还原酶 1 *NQO*1	1.00±0.15	0.59±0.11	0.05
核因子 E2 相关因子 2 *Nrf*2	1.00±0.15	0.75±0.11	0.20

3 讨 论

3.1 茶多酚对育肥猪生长性能的影响

我国是茶叶生产大国，有极其丰富的茶多酚提取原料，将绿色、天然的茶多酚作为新型饲料添加剂有着广阔的市场前景。有研究表明，饲粮添加茶多酚能够在一定程度上改善动物

生长性能。徐坤等[10]研究表明饲粮添加 0.1%的茶多酚复合添加剂能显著提高生长育肥猪的平均日增重，添加 0.3%的茶多酚复合添加剂能极显著提高生长育肥猪的平均日增重；但继续提高茶多酚的添加水平对生长性能改善作用不大。姚波等[15]在把茶多酚作为育肥猪天然肉质改良剂的应用研究中发现加入茶多酚对改善生长性能没有达到显著水平，但能部分提高平均日增重，降低料重比，且添加量为 450 g/t 组略好于 650 g/t 组。王晓方等[16]在研究不同饲料添加剂对肉鸡生长性能影响时发现，添加 1 000 mg/kg 茶多酚组的平均日采食量显著低于对照组。在本试验中，饲粮中添加 400 mg/kg 的茶多酚能显著提高育肥猪净增重和平均日增重，可能原因在于茶多酚含有大量鞣酸、咖啡碱和多种维生素，具有兴奋神经中枢、促进新陈代谢等作用，从而改善生产性能，说明添加一定水平的茶多酚对动物的生长性能具有一定的促进作用[17]，从而可以作为新型饲料添加剂在动物饲粮中广范使用。

3.2　茶多酚对育肥猪抗氧化能力和相关基因表达的影响

动物正常的生命活动中，体内会因代谢而不断地产生有害自由基。自由基的性质活泼，具有极强的氧化能力，可以诱发体内不饱和脂肪酸的氧化，产生脂质过氧化物。脂质过氧化物能够引发氧化应激，从而降低猪肉品质。机体内存在的各种抗氧化酶能够互相合作共同构成机体对抗自由基的第一道防线，其中SOD、GSH-Px和CAT是最重要的抗氧化酶[18]。徐静[19]在饲粮添加茶多酚对氧化应激仔猪抗氧化效应的影响研究中发现，仔猪饲粮添加茶多酚（500 mg/kg）可提高仔猪血清抗氧化酶活性，显著提高应激仔猪抗超氧阴离子能力和抑制羟自由基的能力，使机体抗氧化能力可以恢复到非应激仔猪的水平。茶多酚在体内抗自由基的主要活动机理为：1）酚羟基与自由基进行脱氢反应生成稳定的半醌自由基，从而中断链式反应；2）茶多酚直接给出电子清除自由基；3）使氧化酶的构象发生改变甚至使其沉淀，从而间接清除自由基[20]。

本试验中，通过对抗氧化氧化指标（GSH-Px、T-SOD、CAT、T-AOC、GSH和MDA）的分析发现茶多酚的添加显著降低了血清中GSH-Px的活性，可能原因是本试验所采用的茶多酚产品中茶多酚含量高达63.58%，而儿茶素就占其中的40.20%，其独特的化学结构具有直接清除自由基的作用。茶多酚中的酚羟基还可以提供氢离子与自由基进行反应来清除体内自由基。表没食子儿茶素没食子酸酯是茶多酚中最有效的活性成分，具有较强的抗氧化能力，能够清除自由基，阻止脂质过氧化[21]，所以机体本身不用合成过多的GSH-Px来清除有害的自由基，但具体的原因有待进一步研究。对于其他抗氧化指标的影响，茶多酚组与对照组相比差异都不显著，这可能与茶多酚添加剂量相关。王玉龙等[22]发现添加500 mg/kg的茶叶提取物能够显著改善肌肉中抗氧化指标，而添加250 mg/kg的茶叶提取物对肌肉抗氧化指标改

善作用不显著。不过，本试验茶多酚组肝脏中的GSH-Px活性与对照组相比极显著提高，T-AOC显著提高，并且茶多酚组的MDA含量较对照组有降低的趋势，这与前人的研究结果基本一致。茶多酚不仅能够通过与氧化酶蛋白结合来降低氧化酶对氧化反应的催化活性，促进抗氧化酶的活性[23]，而且其多酚结构可络合铁、钙和铜等10多种金属离子，抑制以金属离子介导或催化的相关脂蛋白氧化和氧化酶的活性，保护抗氧化酶活性[24]。本试验结果说明在饲粮中添加茶多酚对育肥猪抗氧化能力有显著影响，其中对GSH-Px活性、T-AOC影响较大，从作用效果来看，在育肥猪不同部位和组织器官此影响有一定差异，其中以茶多酚在肝脏中作用效果较明显。

Nrf2 信号通路是氧化应激过程中调控抗氧化相关基因表达的重要通路[25]，其下游信号分子 *HO*-1、*NQO*1、*SOD*、*GSH-Px* 和 *CAT* 的 mRNA 表达水平在氧化应激状态下均受到自由基的影响[26]。茶多酚可直接清除自由基，且可诱导 *GSH-Px*、*SOD* 和 *CAT* mRNA 的表达，提高抗氧化物酶活性[27-29]。从本试验结果看出，与对照组相比，茶多酚组中 *GSH-Px*、*CAT* 和 *NQO*1 的基因表达量显著降低，而 *HO*-1 的表达量有提高的趋势。可能原因在于茶多酚具有直接清除自由基的作用，并且机体代谢所产生的自由基还可以被机体本身已有的抗氧化酶所清除；而对于对照组来说，需要更多的抗氧化酶来参与自由基的清除，从而导致对照组抗氧化酶活性降低。这与上述对照组肝脏中抗氧化酶活降低结果相符合，这也可以说明茶多酚与抗氧化酶存在协同作用，共同清除机体产生的有害自由基，具体的机制有待进一步研究。

3.3　茶多酚对育肥猪胴体品质的影响

胴体性状属于高遗传力性状，受营养水平影响较小[30]。蔡海莹等[31]研究指出茶多酚对生长肥育猪胴体品质各项参数均未产生显著影响，但添加茶多酚有提高眼肌面积、增加胴体长度和提高屠宰率的趋势。周晓容等[32]的研究结果表明，在饲粮中添加复合肉质改良剂（茶多酚+牛至油）对试验猪胴体品质无显著影响，但试验组 4 点均膘厚、膘皮厚和皮脂率均低于对照组，分别低 0.25 cm、0.34 cm 和 1.6%，板油重较对照组低 17.0%，瘦肉率较对照组高 2.1%。徐坤等[10]同样发现茶多酚的添加对生长育肥猪背膘厚度、瘦肉率没有显著的影响。本试验研究结果和前人一致，饲粮添加茶多酚不能显著影响猪胴体品质，但是茶多酚组屠宰率、胴体重和眼肌面积等指标从数值上看比对照组的高，这表明添加茶多酚在育肥猪上对胴体品质改善有一定的作用，但是改善作用并不理想，这可能与动物自身遗传、茶多酚添加量以及茶多酚组成相关。

3.4　茶多酚对育肥猪猪肉品质的影响

有关茶多酚改进畜禽肉品质效果的报道相对较多。蔡海莹等[33]研究结果发现饲粮中添

加茶多酚有利于提高猪肌肉品质，其中以每千克饲料添加 400 mg 茶多酚效果较有参考意义，并且在猪肉货架期茶多酚添加剂有稳定猪肉色、提高猪肌肉抗氧化和系水力的作用。王玉龙等[22]试验添加 500 g/t 的茶叶提取物能够显著提高肉色以及降低系水力和滴水损失，同时，对嫩度、pH 和大理石纹评分具有一定的改善作用。猪肉品质的下降大多由于屠宰后肌肉中大量脂质过氧化物发生氧化反应，破坏细胞膜，从而造成 pH 下降、肉色变淡和系水力下降等，而茶多酚能够进入体内清除自由基，保护肌肉细胞完整性，从而起到改善猪肉品质的作用。当猪肉的 pH 迅速下降，肌浆蛋白和肌原纤维蛋白发生降解使肉质颜色苍白、松软和液体渗出而形成 PSE 肉[34]。本试验饲粮添加茶多酚对育肥猪的肉品质没有显著影响，从屠宰后 45 min 的 pH 可以看出，茶多酚组均比对照组高，但差异不显著；而对于 24 h 的 pH，茶多酚组和对照组相比具有升高的趋势，并升高了 1.64%，说明茶多酚能在一定程度上提高 pH，延缓猪肉变质速度，降低 PSE 肉的形成概率。L^*代表肌肉的亮度，茶多酚能够保护肌肉含磷脂的细胞膜免受脂质过氧化的损伤，保护细胞膜的完整性和稳定性，减少猪肉表面的渗水，降低肌肉表面的反光[31]；a^*表示鲜肉切块中肌红蛋白转换为高铁蛋白的标识，茶多酚的抗氧化作用具有延缓这一反应的作用；b^*代表黄度，反映了肌肉被氧化的程度。本试验中，在屠宰后 45 min 时，茶多酚组的 L^*值比对照组高 3.74%，并具有一定的升高趋势；但存储 24 h 后，茶多酚组的 L^*值比对照组低 4.26%，且具一定的降低趋势。同时，从 45 min 到 24 h 的 L^*、a^*、b^*值变化来看，对照组和茶多酚组都分别提高了 15.09%、6.21%，70.72%、66.56%，121.92%、94.39%，表明茶多酚的添加增加了猪肉色泽的稳定性。

4 结 论

在本试验条件下，育肥猪饲粮中添加 400 mg/kg 的茶多酚，能显著改善育肥猪的平均日增重和净增重，提高肝脏中 GSH-Px 活性和 T-AOC。

参考文献：

[1] 王建华,戈新,张宝珣,等.茶多酚复合添加剂对肉猪肥育性能、胴体性状和肌肉品质的影响[J].畜牧与兽医,2011,43(1):46–48.

[2] 张婷,陈宇光,罗佳捷.茶多酚在动物生产中的研究进展[J].饲料博览,2013(3):16–19.

[3] 刘晓华,郜卫华,夏瑜,等.茶多酚对肉仔鸡生产性能、屠宰性能及肉品质的影响[J].现代畜牧兽医,2004(12):9–11.

[4] BUCKLEY D J,MORRISSEY P A,GRAY J I.Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat[J].Journal of Animal Science,1995,73(10):3122–3130.

[5] HOVING-BOLINK A H,EIKELENBOOM G,VAN DIEPEN J T M,et al.Effect of dietary

vitamin E supplementation on pork quality[J].Meat Science,1998,49(2):205–212.

[6] 龚郁,占今舜,邬理洋,等.茶多酚的生物学功能及其在禽生产中的应用[J].中国饲料,2012(14):31–34.

[7] 李明元,徐坤,马嫄.饲粮添加茶多酚对猪生产性能和肉质的影响[J].西南大学学报:自然科学版,2007,29(8):89–91.

[8] 李永义,段绪东,赵娇,等.茶多酚对氧化应激仔猪生长性能和免疫功能的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(15):53–57.

[9] SARKER M S K,YIM K J,KO S Y,et al.Green tea level on growth performance and meat quality in finishing pigs[J].Pakistan Journal of Nutrition,2010,9(1):10–14.

[10] 徐坤,李明元,马嫄.茶多酚对生长育肥猪生长性能和肉质的影响研究[J].粮食与饲料工业,2009(4):43–44.

[11] 郭利,陈显峰,王昊.肥育猪生长后期饲喂茶多酚和维生素 E 对猪肉脂质品质的影响[J].饲料工业,2013,34(13):26–28.

[12] KO S Y,YANG C J.Effect of green tea probiotics on the growth performance,meat quality and immune response in finishing pigs[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2008,21(9):1339–1347.

[13] 杨公社.猪生产学[M].北京:中国农业出版社,2002:47.

[14] PFAFFL M W.A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR[J].Nucleic Acids Research,2001,29(9):e45.

[15] 姚波,屠幼英,王春花.茶多酚作为育肥猪天然肉质改良剂的应用研究[J].饲料工业,2015,36(20):12–14.

[16] 王晓方,常文环,张姝,等.不同饲料添加剂对肉鸡生长性能、胴体品质、肌内脂肪和肌苷酸含量的影响[J].中国家禽,2014,36(3):24–29.

[17] 徐晓娟,蔡海莹,张磊,等.日粮中添加茶多酚对青脚麻鸡生长性能、胴体品质和血脂的影响[J].中国饲料,2011(10):30–33,40.

[18] 赵娇.葡萄籽原花青素缓解氧化应激仔猪肝脏损伤及可能机制研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2013.

[19] 徐静.猪氧化应激模型构建以及茶多酚的抗应激效应的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2009.

[20] 韩娟,江栋材,谢燕娟,等.茶多酚的生物学功能及其在猪生产中的应用[J].中国饲

料,2014(8):27–30,34.

[21] 陈润丽,李丽,唐燕霞,等.表没食子儿茶素没食子酸酯对柔红霉素致小鼠心肌损伤的抗氧化作用[J].广西医学,2015,37(1):62–64.

[22] 王玉龙,费兆生.茶叶提取物对肉猪生产性能、肌肉品质及肌肉抗氧化指标的影响[J].畜牧与兽医,2014,46(12):50–52.

[23] 陈小雷,胡王,周蓓蓓,等.天然抗氧化剂茶多酚对水产品的抗氧化研究[J].安徽农业科学,2016,44(1):112–114.

[24] 王来娣,朱振鹏.茶多酚的生物学功能及其在家禽生产中的应用[J].中国饲料,2012(19):12–13,21.

[25] JAISWAL A K.Nrf2 signaling in coordinated activation of antioxidant gene expression[J].Free Radical Biology and Medicine,2004,36(10):1199–1207.

[26] HAN E S,MULLER F L,PÉREZ V I,et al.The *in vivo* gene expression signature of oxidative stress[J].Physiological Genomics,2008,34(1):112–126.

[27] LI Y M,CHAN H Y E,HUANG Y,et al.Green tea catechins upregulate superoxide dismutase and catalase in fruit flies[J].Molecular Nutrition & Food Research,2007,51(5):546–554.

[28] FREI B,HIGDON J V.Antioxidant activity of tea polyphenols *in vivo*:evidence from animal studies[J].The Journal of Nutrition,2003,133(10):3275S-3284S.

[29] 胡经纬,宛晓春,周裔彬,等.绿茶粉及其茶多酚对罗曼蛋鸡抗氧化性能的影响[J].粮食与饲料工业,2011(1):53–55.

[30] 曾勇庆,王根林,魏述东,等.含不同比例莱芜猪血缘杂交猪胴体品质及肉质特性的研究[J].遗传,2005,27(1):65–69.

[31] 蔡海莹.茶多酚和维生素 E 对肥育猪生产性能及其肉品质的影响[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2006.

[32] 周晓容,杨飞云,肖融,等.复合肉质改良剂对肥育猪生产性能和肉质的影响研究[J].饲料工业,2012(S1):41–43.

[33] 蔡海莹,朱建和,张晓,等.日粮中添加茶多酚对肥育猪肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2007,43(9):27–30.

[34] 陈艳珍.猪肉品质的评定及影响因素[J].中国畜牧兽医,2012,39(7):155–158.

Effects of Tea Polyphenol on Growth Performance, Antioxidant Capacity, Carcass Performance and Meat Quality of Finishing Pigs

CHAO Yamei[1] CHEN Daiwen[1] YU Bing[1] HE Jun[1] YU Jie[1] MAO Xiangbing[1] LUO Yuheng[1] HUANG Zhiqing[1] LUO Junqiu[1] WANG Shaohui[2] LUO Chenggui[2] ZHENG Ping[1i]

（1. *Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education*, *Institute of Animal Nutrition*, *Sichuan Agricultural University*, *Ya'an* 625014, *China*; 2. *Shuxing Feed Company Limited of Chengdu*, *Chengdu* 610043, *China*）

Abstract: This experiment was to study the effects of tea polyphenol on growth performance, antioxidant capacity, carcass performance and meat quality of finishing pigs, and discuss its application effects. A total of sixty (74.19±7.41) kg finishing pigs were divided into 2 groups with 6 replicates per group 5 pigs per replicate and fed a basal diet (control group) or a basal diet supplemented with 400 mg/kg tea polyphenol (tea polyphenol group), respectively. The experiment lasted for 6 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the control group, tea polyphenol group significantly improved weight gain and average daily gain of pigs（P<0.05）. 2） Compared with the control group, tea polyphenol group significantly reduced the activity of glutathion peroxidase (GSH-Px) in serum （P=0.05）, significantly increased the activity of GSH-Px （P<0.01） and total antioxidant capacity (T-AOC) （P=0.05） in liver, and decreased the malondialdehyde (MDA) content by 26.24% （P=0.09）in liver of finishing pigs. Adding tea polyphenol additive could significantly decrease the expression of *GSH-Px*, catalase (*CAT*) and quinone oxidoreductase 1 (*NQO*1) in liver of finishing pigs （P≤0.05）。 3） Compared with the control group, supplementation with tea polyphenol had no effects on carcass performance and meat quality （P>0.05）. The pH after slaughter for 24 h and brightness (L^*) value after slaughter for 45 min of pig muscle in tea polyphenol group were increased by 1.65 (P＝0.09) and 3.74 (P＝0.10), while L^* value after slaughter for 24 h was decreased by 4.26 (P＝0.10) compared with the control group. In conclusion, under the condition of this test, supplementation with 400 mg/kg tea polyphenol in the diet can significantly improve weight gain and average daily gain, reduce the activity of GSH-Px in serum, but increase the activity of GSH-Px and T-AOC in liver of finishing pigs. Howerer, supplementation with tea polyphenol has no significantly effects on carcass performance and meat quality of finishing pigs.

Key words: tea polyphenol; growth performance; antioxidant capacity; carcass performance; meat quality; gene expression

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: zpind05@163.com　（责任编辑　田艳明）